



UNIFOR

PROCESSOS ESTOCÁSTICOS I

UNIVERSIDADE DE FORTALEZA

MESTRADO EM INFORMÁTICA APLICADA

Trabalho Final

Autor: Abílio Costa da Silva Júnior

Matricula: 1724333

Autor: Leonardo Cavalcante Paixão

Matricula: 16259993

1 Metodologia

Um projeto de um simulador de epidemias foi criado com objetivo emular um padrão de infecção de um grupo de indivíduos que dentro de uma matriz quadrada n por n na qual um dos indivíduo encontram-se em estado infectado e em uma posição aleatória dentro desta matriz. Uma serie de propriedades ainda foram implementadas, estas propriedades dizem respeito a movimentação espacial, taxa de mortalidade, imunidade, taxa de nascimento, etc.

O simulador foi desenvolvido conforme os requisitos descritos no documento que pode ser visto no apêndice A. Este foi inteiramente desenvolvido em linguagem JAVA versão 1.8., utilizando-se da interface de desenvolvimento, Eclipse versão Oxygen.3a (Release (4.7.3a) Build id: 20180405 - 1200). O simulador foi implementado com base em uma primitiva e simples máquina de estados, onde indivíduos passavam de sadios ao óbito ou de diversos outros estados descritos abaixo.

Possuímos em nosso simulador quatro tipos de indivíduos: indivíduos imunes, infectados, pseudo-imunes e sadios. Os indivíduos imunes não poderiam ser infectados pelos indivíduos infectados. Os indivíduos pseudo-imunes possuíam uma taxa de imunidade e os indivíduos sadios eram sempre infectados.

Além destas propriedades, o simulador possuía uma serie de métricas relativas ao nascimento, mortes e movimentação espacial por parte destes indivíduos, todos estes detalhes estão descritos no documento inicial no apêndice A.

O simulador java possuía cinco classes (1) que implementavam o simulador, estas foram separas conforme funcionalidades e função. A classe principal chamada Simulador.java era responsável pela simulacao enquanto que as outras classes ficavam responsáveis pela aquisição dos dados gerados pela simulação, executar os eventos de nascimentos e mortes, utilidades gerais e etc.

Table 1: Classes

Nome	Função
Simulador.java	Executa a função de simulação, setup inicial da matriz, atualização temporal, movimentação espacial dos indivíduos, infecção.
Dados.java	Controla a quantidade de indivíduos que são criados e o tipo de indivíduos que são criados
Individuo.java	Classe que representa os indivíduos, possui as seguintes propriedades: Posicao, tipo e idade.
Eventos.java	Controla a ocorrência dos eventos de acidentes, nascimentos e mortes.
Utils.java	Concentra alguns métodos que servem para facilitar o fluxo de trabalho, entre os mais importantes estão a escrita dos dados em disco depois finalização das simulações e impressão em console.

De posse do simulador foram gerados uma serie de simulações variando o número

de posições possíveis dentro da matriz (n) e o número de interações (i) que teriam cada simulação. A variável n e i adotou os valores 10, 100 e 1000 gerando assim estas de forma resumida na tabela 2

Foram gerados três simulações para combinação de n e i a exceção desta regra foi quando foi necessário geração de valores com N muito alto. Isto se deve ao fato de que o algoritmo possui uma velocidade cúbica ($\Theta(n^3)$) então quando se utiliza valores de 1000 em diante o tempo para cada simulação estava durando entre 45 e 60 minutos. Devido a isso foram gerados apenas duas simulações para um valor de n igual a 1000, um com 100 interações e outro com 1000 interações.

Table 2: Simulações

Experimento	Variável n	Variável i
01	10	10
02	10	10
03	10	10
04	10	100
05	10	100
06	10	100
07	100	10
08	100	10
09	100	10
10	100	100
11	100	100
12	100	100
13	100	1000
14	100	1000
15	100	1000
16	1000	100
17	1000	1000

De posse das simulações geradas estávamos com 21 arquivos separados por vírgulas (CSV) que continham os dados de: indivíduos imunes, indivíduos pseudo-imunes, indivíduos infectados, indivíduos doentes, indivíduos acidentados, número de mortes e número de nascimentos. Para tratar esta quantidade de dados estes arquivos foram trazidos para serem analisados utilizando a linguagem R, uma linguagem destinada a análise de dados estatísticos.

Foram inicialmente solicitados os dados de média, desvio padrão e mediana dos dados. Estes valores, bem como outros valores mas que não foram utilizados no nosso estudo, foram extraídos das amostras utilizando a função `stat.desc()` os dados foram então separados e colocados em uma tabela na próxima sessão.

Foi necessário ainda verificar se o experimento se ajustava a uma distribuição normal, para verificar se a hipótese era verdadeira ou não, foi inicialmente realizada uma análise gráfica das curvas redistribuição e histogramas dos dados das simulações. Foi também realizado uma análise utilizando o teste Shapiro-Wilk, que

poderia nos dar um direcionamento para decidir quais dados poderiam se ajustar a distribuição normal.

Escolhemos então apenas uma das simulações para dar prosseguimento ao experimento. Com esta simulação realizamos uma separação dos dados, pegando uma amostra que corresponde a 95

A partir dos parâmetros de n e I resolvamos também alterar os dados de imunidade e verificar com quais valores podemos levar a população a situações analiticamente interessantes, como imunidade, morte, endemia etc.

2 Resultados

Os dados gerados de mediana (median), média (mean) e desvio padrão (std.dev), foram todos sumarizados no 3, separado por experimento. Dessa forma podemos analisar que os dados dos experimentos 01, 02 e 03 possuem valores sem grandes variações com as demais simulações.

Os dados dos experimentos 04, 05 e 06 possuem os valores na grandeza de *infectantes gerados* zerados, em todas as três simulações que utilizam a variável n igual a 10 e a variável i igual a 100. Os dados dos experimentos 07, 08 e 09 apresentam ainda algumas discrepâncias entre as três de simulações com mesmos valores de variáveis. O experimento 10, 11 e 12 não apresentou problemas na grandeza *infectantes gerados*, porem nestas três simulações foi apresentado um valor estranho de desvios padrões dos sadios destes experimentos. A partir destes experimentos percebemos o mesmo padrão para todas as grandezas em especial o comportamento das grandezas *infectantes gerados* e *sadios*.

Analisando agora os dados encontrados foram gerados dois gráficos para cada grandeza, foi escolhida duas simulações, com as seguintes variáveis ($n=10$, $i=10$) e ($n=10$, $i=100$). A partir dos dados das simulações citadas procuramos por curvas que tenham a aparência de sino, uma distribuição normal. E podemos verificar isso nas figuras 1,2, 3, 4, 5, 6 e 7.

Figure 1: Comparativo da grandeza imunes.

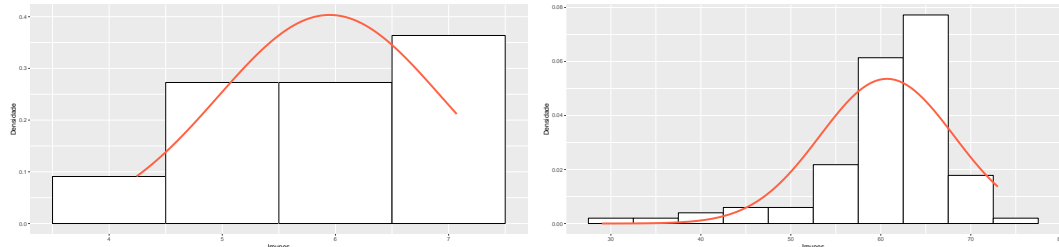
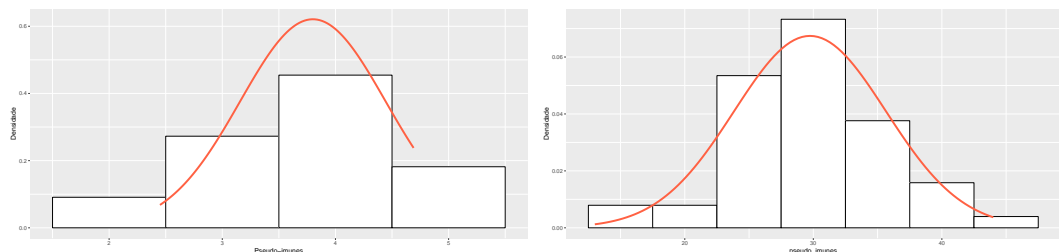


Figure 2: Comparativo da grandeza pseudo-Imunes.



Além disso executamos testes de adequação ao padrão normal de todas as variáveis usando teste de Shapiro e Wilk. OS resultados foram sumarizados na tabela 3. Dentre todas as simulações buscamos por aquelas que nos apresentavam um p-value menos que 0,005. Encontramos o esperado nos dados do experimento 02, porem no experimento 05 encontramos apenasnas grandezas do numero de imunes, acidentados e nascimentos.

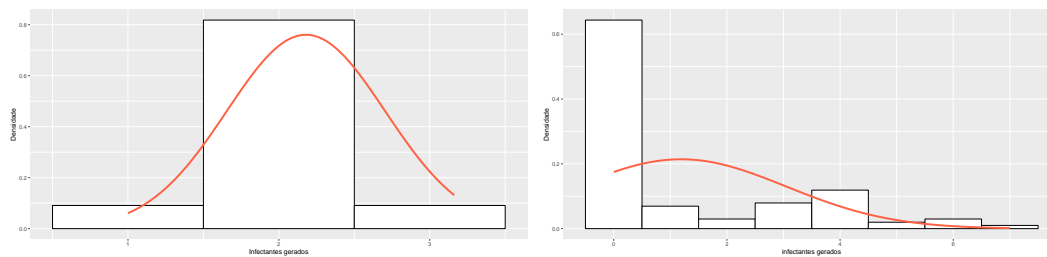
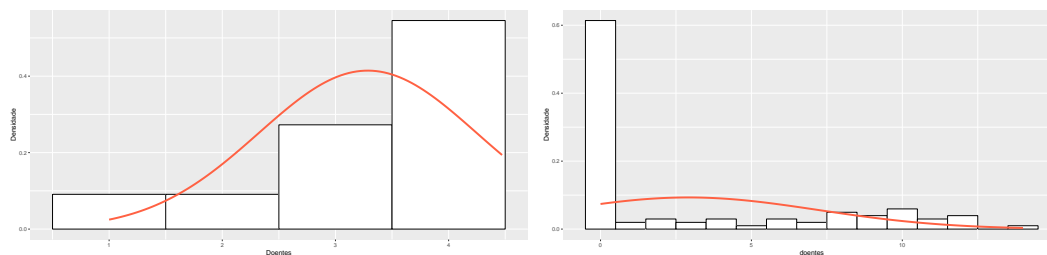
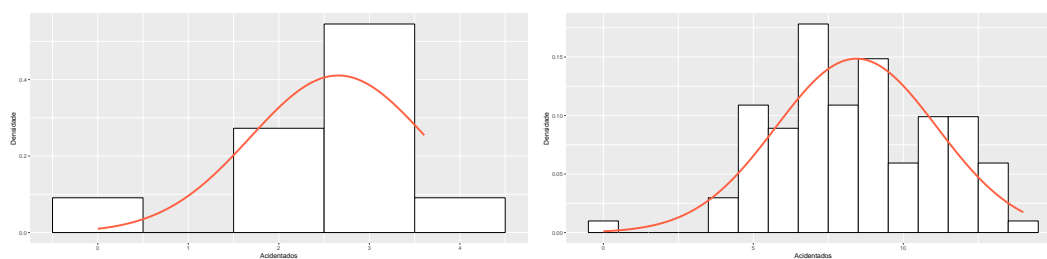
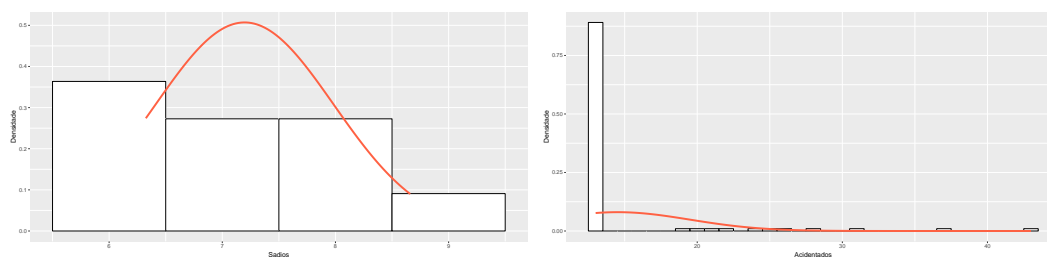
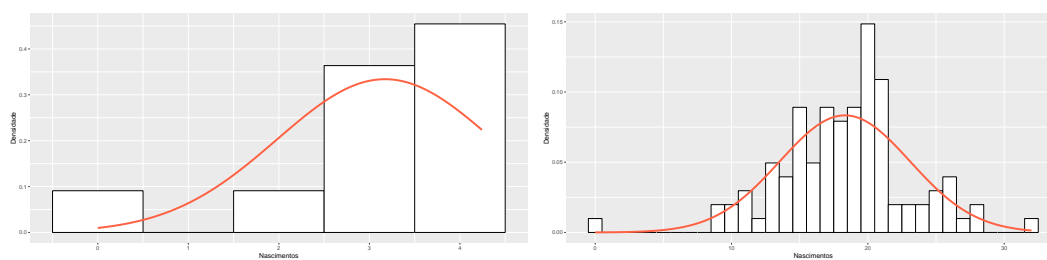
Figure 3: Comparativo da grandeza infectantes gerados.**Figure 4: Comparativo da grandeza doentes.****Figure 5: Comparativo da grandeza acidentes.****Figure 6: Comparativo da grandeza sadios.****Figure 7: Comparativo da grandeza nascimentos.**

Table 3: VALores dos testes de Shapiro-Wilk

Grandeza	Experimento	P-Value
imunes	Experimento 02	0,3813
pseudo imunes	Experimento 02	0,8414
infectantes gerados	Experimento 02	0,9424
doentes	Experimento 02	0,8498
acidentados	Experimento 02	0,4816
sadios	Experimento 02	0,2504
nacimentos	Experimento 02	0,1269
imunes	Experimento 05	0,02057
pseudo imunes	Experimento 05	$1,304E - 07$
infectantes gerados	Experimento 05	$2,2E - 16$
doentes	Experimento 05	$2,2E - 16$
acidentados	Experimento 05	0,1269
sadios	Experimento 05	$2,2E - 16$
nacimentos	Experimento 05	0,1782

Foi então escolhida a simulação do experimento 05 para ser realizado uma tentativa de prever o comportamento da população. Foi inicialmente separado os dados, os 95% de dados iniciais seriam a amostra das quais calcularíamos os comportamentos desejados. Os demais 5% seriam nossos dados de testes para garantirmos que nosso sistema de previsão estaria calibrado. Inicialmente tentamos com os dados de indivíduos imunes, utilizamos a função `qnorm()` do R, esta utiliza os parâmetros de média e desvio padrão para calcular os valores esperados. Ao executar o script tivemos um retorno de 69.88 e 51.992. Analisando os demais dados de testes temos 64, 62, 60, 61, 62, 59, 61, conforme visto o script retornou valores favoráveis. As demais previsões foram colocadas na tabela 4.

Table 4: Previsões

Grandeza	X1	X2	Dados
Imunes	69.888	51.992	64, 62, 60, 61, 62, 59, 61
Pseudo-imunes	43.46406	17.93594	3,0 34, 36, 32, 29, 39, 35
infectantes	-1.56317	2.48317	0, 0, 0, 0, 0, 0, 0
doentes	-3.731664	6.071664	0, 0, 0, 0, 0, 0, 0
acidentados	3.510204	12.5898	10, 12, 7, 8, 8, 6, 5
nascimentos	9.834144	26.54586	20, 19, 15, 17, 19, 26, 13

Foram detectadas três taxas que podem comprometer o comportamento da população, taxa de acidentes, taxa de mortalidade e taxa de imunidade. Foi as três variáveis foram alteradas para diversos valores em busca de comportamentos que pudessem levar a população a imunidade, este cenário já era possível na maioria das simulações. O cenário no qual a a população era levada a endemia só foi possível

quando a taxa de imunidade foi diminuída ao mínimo. E não foi encontrada uma variação das taxas na qual levasse a população a morte.

Table 5: Experimento 01

	imunes	pseudo_imunes	infectantes_gerados	doentes	acidentados	sadios	nacimentos
median	37.00	24.00	6.00	13.00	9.00	31.00	13.00
mean	40.45	24.91	5.27	11.27	8.82	33.73	13.45
std.dev	9.36	2.88	1.79	4.98	3.34	7.31	7.38

Table 6: Experimento 02

	imunes	pseudo_imunes	infectantes_gerados	doentes	acidentados	sadios	nacimentos
median	38.00	15.00	5.00	13.00	9.00	50.00	12.00
mean	36.27	14.82	5.00	11.64	7.91	52.36	11.36
std.dev	11.40	4.71	2.19	5.33	3.53	11.60	5.30

Table 7: Experimento 03

	imunes	pseudo_imunes	infectantes_gerados	doentes	acidentados	sadios	nacimentos
median	37.00	18.00	6.00	15.00	8.00	37.00	12.00
mean	33.82	20.91	6.18	13.36	6.82	39.27	11.18
std.dev	12.36	5.58	2.86	6.73	3.34	6.40	6.23

Table 8: Experimento 04

	imunes	pseudo_imunes	infectantes_gerados	doentes	acidentados	sadios	nacimentos
median	62.00	29.00	0.00	0.00	8.00	13.00	19.00
mean	60.68	29.74	1.19	2.91	8.44	14.51	18.32
std.dev	7.45	5.92	1.86	4.28	2.68	4.96	4.78

Table 9: Experimento 05

	imunes	pseudo_imunes	infectantes_gerados	doentes	acidentados	sadios	nacimentos
median	61.00	32.00	0.00	0.00	8.00	21.00	18.00
mean	60.94	30.70	0.47	1.18	8.06	22.41	18.20
std.dev	5.44	7.76	1.24	2.98	2.76	4.65	5.09

Table 10: Experimento 06

	imunes	pseudo_imunes	infectantes_gerados	doentes	acidentados	sadios	nacimentos
median	62.00	32.00	0.00	0.00	9.00	29.00	19.00
mean	59.43	29.92	1.25	3.01	8.70	30.99	18.52
std.dev	11.61	7.08	2.91	6.74	2.88	7.22	4.73

Table 11: Experimento 07

	imunes	pseudo_imunes	infectantes_gerados	doentes	acidentados	sadios	nacimentos
median	5038.00	1833.00	0.00	1.00	945.00	2771.00	1237.00
mean	5134.00	1681.36	0.55	1.00	855.18	2917.45	1055.82
std.dev	318.57	610.64	0.69	1.00	285.01	953.55	418.38

Table 12: Experimento 08

	imunes	pseudo_imunes	infectantes_gerados	doentes	acidentados	sadios	nacimentos
median	5157.00	1791.00	11.00	24.00	945.00	2796.00	1259.00
mean	5232.45	1578.45	11.00	22.27	861.36	2944.82	1050.18
std.dev	265.18	712.78	5.69	13.33	286.97	987.54	402.18

Table 13: Experimento 09

	imunes	pseudo_imunes	infectantes_gerados	doentes	acidentados	sadios	nacimentos
median	4255.00	1887.00	4.00	7.00	951.00	3529.00	1289.00
mean	4319.45	1716.73	3.36	7.45	864.18	3703.27	1072.82
std.dev	605.51	631.17	1.50	3.67	287.86	1286.47	424.76

Table 14: Experimento 10

	imunes	pseudo_imunes	infectantes_gerados	doentes	acidentados	sadios	nacimentos
median	6228.00	3230.00	18.00	43.00	843.00	87.00	1892.00
mean	5769.18	3095.33	18.66	44.87	838.42	712.49	1830.50
std.dev	1346.23	512.02	7.33	16.83	97.56	1901.87	364.28

Table 15: Experimento 11

	imunes	pseudo_imunes	infectantes_gerados	doentes	acidentados	sadios	nacimentos
median	6229.00	3249.00	13.00	31.00	852.00	100.00	1900.00
mean	5990.26	3166.37	12.84	31.04	842.98	446.51	1840.29
std.dev	714.65	326.26	4.44	9.78	96.79	1055.93	344.42

Table 16: Experimento 12

	imunes	pseudo_imunes	infectantes_gerados	doentes	acidentados	sadios	nacimentos
median	6225.00	3246.00	16.00	38.00	840.00	87.00	1898.00
mean	5835.92	3125.92	16.65	40.43	836.95	623.47	1832.81
std.dev	1164.21	429.69	5.79	13.18	98.32	1631.54	350.38

Table 17: Experimento 13

	imunes	pseudo_imunes	infectantes_gerados	doentes	acidentados	sadios	nacimentos
median	6214.00	3190.00	46.00	113.00	844.00	26.00	1902.00
mean	6204.63	3174.90	47.71	116.18	844.43	57.04	1896.98
std.dev	108.67	205.37	22.41	53.75	40.89	309.96	125.96

Table 18: Experimento 14

	imunes	pseudo_imunes	infectantes_gerados	doentes	acidentados	sadios	nacimentos
median	6216.00	3230.00	30.00	73.00	846.00	97.00	1908.00
mean	6199.55	3214.95	30.38	73.92	845.59	132.92	1901.46
std.dev	166.66	197.15	18.27	43.75	40.35	359.05	126.04

Table 19: Experimento 15

	imunes	pseudo_imunes	infectantes_gerados	doentes	acidentados	sadios	nacimentos
median	6224.00	3290.00	0.00	0.00	846.00	80.00	1914.00
mean	6188.67	3288.17	2.53	6.12	845.97	119.45	1908.31
std.dev	405.90	78.69	4.91	11.69	40.00	394.56	113.18

Table 20: Experimento 16

	imunes	pseudo_imunes	infectantes_gerados	doentes	acidentados	sadios	nacimentos
median	622971.00	328968.00	5.00	13.00	84595.00	14.00	191235.00
mean	592658.04	322377.00	5.44	13.13	84384.45	38826.28	184725.73
std.dev	90945.78	24894.75	2.35	4.93	9332.44	118152.44	33632.49

Table 21: Experimento 17

	imunes	pseudo_imunes	infectantes_gerados	doentes	acidentados	sadios	nacimentos
median	623042.00	328799.00	115.00	281.00	84556.00	68.00	191325.00
mean	621820.98	327054.70	133.69	324.76	84543.10	3227.05	190553.99
std.dev	11046.52	19342.77	97.15	235.42	3045.27	31579.28	11982.18